



② Aktenzeichen: P 41 01 575.4

② Anmeldetag: 21. 1. 91

④3 Offenlegungstag: 23. 7. 92

⑦① Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

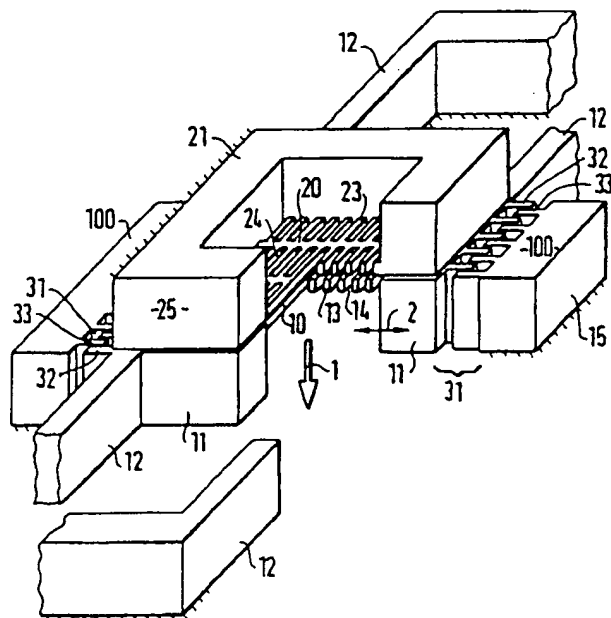
⑦2 Erfinder:

Gschwendtner, Horst, Dipl.-Ing., 7300 Esslingen, DE;
Marek, Jiri, Dr. Dr.-Ing., 7410 Reutlingen, DE;
Mettner, Michael, Dr. Dr.-Ing., 7140 Ludwigsburg,
DE; Stokmaier, Gerhard, Dipl.-Ing., 7145
Markgröningen, DE; Grauer, Thomas, Dipl.-Phys. Dr.,
7000 Stuttgart, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Mikroventil

(57) Es wird ein Mikroventil in Mehrschichtenstruktur zum Schalten oder Steuern von Fluidströmen vorgeschlagen, das einen Zulauf und ein Schließelement aufweist. Der Zulauf ist in einer ersten Schicht als mindestens eine Durchgangsöffnung ausgebildet. Das Schließelement ist aus einer zweiten Schicht strukturiert, die auf die erste Schicht aufgebracht ist. Diese zweite Schicht weist im Bereich des Schließelementes mindestens eine weitere Durchgangsöffnung auf. Das Schließelement ist durch insbesondere elektrische Betätigungsmittel im wesentlichen parallel zu der ersten Schicht und der zweiten Schicht verschiebbar, so daß in mindestens einer ersten Stellung das Schließelementes die mindestens eine Durchgangsöffnung des Zulaufs zusammen mit der mindestens einen weiteren Durchgangsöffnung in der zweiten Schicht mindestens eine Durchströmöffnung bildet. Durch Betätigen des Schließelementes ist der Querschnitt der mindestens einen Durchströmöffnung veränderbar.



DE 41 01 575 A1

DE 41 01 575 A1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung geht aus von einem Mikroventil nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Aus der GB 21 55 152 A ist bereits ein Mikroventil bekannt, das in der aus der Halbleitertechnik bekannten Mehrschichtenstrukturtechnik hergestellt ist. Dieses mikromechanische Ventil weist im wesentlichen drei Schichten auf, von denen in einer Trägerschicht aus Silizium ein Einlaß und ein Auslaß sowie ein Ventilsitz ausgebildet sind. An die Trägerschicht schließen sich eine Zwischenschicht sowie an letztere eine äußere Deckschicht an, wobei diese Schichten einen die Druckmittelverbindung zwischen den beiden Anschlüssen herstellenden Raum formen. Bei diesem Mikroventil ist die Deckschicht zugleich als Membran ausgebildet, in die auch ein dem Ventilsitz zugeordnetes Schließglied integriert ist. Außerdem ist auf der Membran eine elektrostatische Betätigungseinrichtung angeordnet, mittels derer das Ventil geöffnet werden kann, indem das Schließglied unter Verformung der Membran senkrecht zu den Schichtebenen ausgelenkt wird. Das Schließen des Ventils erfolgt durch die Rückstellkraft der Membran, unter deren Einfluß sich das Schließglied wieder auf den Ventilsitz legt, wenn die Betätigungseinrichtung abgeschaltet wird. Die elektrostatische Betätigungseinrichtung muß also zusätzlich zu dem am Eingang anstehenden Druck des Fluids die Kräfte der federnden Membran überwinden. Die druckunausgeglichene Bauweise dieses Mikroventils erfordert aufwendige Betätigungseinrichtungen, da relativ große Stellkräfte notwendig sind.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Mikroventil mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat den Vorteil, daß die Bewegung des Schließelementes hier in lateraler Richtung, anstatt senkrecht zu den Schichtebenen der Mehrschichtenstruktur erfolgt. In der Durchflußrichtung des Fluids, das senkrecht zu den Schichtebenen durch das Ventil geleitet wird, ist das Schließelement nicht auslenkbar. Die Auslenkung des Schließelementes in lateraler Richtung wird durch das durchströmende Fluid nur geringfügig beeinträchtigt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Mikroventils ist, daß mit relativ kleinen Stellbewegungen große Strömungsquerschnitte freigegeben werden können und damit große fluidische Volumenströme gesteuert werden können. Vorteilhaft ist auch, daß die Struktur des Mikroventils mit in der Mikromechanik standardmäßigen Verfahren herstellbar ist, was eine kostengünstige Massenfertigung ermöglicht. Das erfindungsgemäße Mikroventil läßt sich beispielsweise vorteilhaft bei der Benzineinspritzung anwenden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Hauptanspruch angegebenen Mikroventils möglich. Die Ausgestaltung des Zulaufs als eine erste Gitterstruktur und die Ausbildung des Schließelementes als eine zweite Gitterstruktur, die an Biegebalken aufgehängt ist, erweist sich als besonders vorteilhaft, da sich durch eine seitliche parallelogrammartige Verschiebung des Schließelementes der Strömungsquerschnitt eines Fluids besonders einfach regeln läßt. Je nach Stellung der

beiden Gitterstrukturen zueinander wird eine mehr oder weniger große Durchströmöffnung freigegeben. Von Vorteil ist es, wenn die den Zulauf bildende erste Gitterstruktur und die das Schließelement bildende zweite Gitterstruktur gleichartig sind, das heißt, dieselbe Maschengröße aufweisen. Um in geschlossener Stellung des Ventils den Leckfluß zu begrenzen, ist es vorteilhaft, die Überdeckung der Gitterstrukturen positiv zu wählen, so daß die Gitterbalken des Schließelementes die Maschen des Zuflusses in Geschlossenstellung vollständig überdecken.

Vorteilhaft ist bei entsprechender Ausgestaltung des Zulaufs ein als Balken ausgestaltetes Schließelement, wobei der Balken um seinen mit einem Sockel verbundenen Fußpunkt schwenkbar ist. Zur Unterstützung dieser Drehbewegung ist es günstig, die Breite des Balkens im Bereich seines Fußpunktes zu reduzieren. Zusätzlich können ein- oder zweiseitig Lamellen von dem Balken ausgehen. Vorteilhafterweise werden der Balken und/oder die Lamellen so dimensioniert, daß der Balken und/oder die Lamellen die Durchgangsöffnungen des Zulaufs in mindestens einer Stellung überdecken. Um ein möglichst dichtes Schließen der Ventile zu erreichen, ist es günstig, wenn Mittel zum Anlegen einer Spannung zwischen Teilen der ersten Schicht und Teilen der zweiten Schicht des Mikroventils vorhanden sind, so daß das Schließelement elektrostatisch gegen den Zulauf drückbar ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Mikroventils sind in der zweiten Schicht außer dem als Balken ausgestalteten Schließelement düsenartige Umrundungen strukturiert, die im Bereich der Durchgangsöffnungen des Zulaufs, seitlich neben dem Balken angeordnet sind und eine dem Balken zugewandte Düsenöffnung aufweisen. Bei dieser Ausgestaltung strömt das Fluid durch den Zulauf in die düsenartigen Umrundungen in der zweiten Schicht ein und wird durch die Düsenöffnungen weitergeleitet. Je nach Stellung des Balkens kann der Öffnungsgrad der Düsenöffnungen verändert werden, wodurch eine Regelung der Durchflußmenge möglich ist. Bei dieser Ausgestaltung ist eine obere Abdeckung auf der zweiten Schicht erforderlich.

Die Betätigung des Schließelementes kann vorteilhaft piezoelektrisch erfolgen. Dies läßt sich vorteilhaft durch ansteuerbare Piezoelemente realisieren, die mit dem Schließelement über Hebelarme verbunden sind, so daß eine Ausdehnungsänderung eines Piezoelementes eine Auslenkung des Schließelementes bewirkt. Die Betätigung des Schließelementes kann auch vorteilhaft mittels eines elektrostatischen Fingerantriebes erfolgen. Dazu ist in der zweiten Schicht ausgehend von dem Schließelement mindestens eine erste kammförmige Lamellenstruktur ausgebildet. Eine zweite ebenfalls in der zweiten Schicht ausgebildete kammförmige Lamellenstruktur ist so angeordnet, daß die Lamellen der ersten und der zweiten Lamellenstrukturen ineinander greifen. Das Anlegen einer Spannung zwischen den beiden Lamellenstrukturen stellt eine einfache Möglichkeit dar, das Schließelement zu betätigen. Um möglichst große Stellkräfte zu erzielen, ist es besonders günstig, die Lamellenstrukturen in der gesamten Dicke der zweiten Schicht auszubilden.

Ein mögliches Fertigungsverfahren für das erfindungsgemäße Mikroventil ist die unter der Bezeichnung "LIGA" bekannte Prozeßfolge. Besonders günstig läßt sich das erfindungsgemäße Mikroventil aus monokristallinen Siliziumwafern mit vorzugsweise (100)-Kristallorientierung oder (110)-Kristallorientierung durch

anisotropes, naßchemisches Ätzen oder elektrochemisches Trockenätzen strukturieren, da diese Techniken aus der Mikromechanik bekannt und gut handhabbar sind. Der Mehrschichtenaufbau des Mikroventils kann vorteilhaft durch Aufeinanderbonden von mehreren Wafern über eine Hilfsschicht, vorzugsweise eine Siliziumoxidschicht, erfolgen. Ein besonderer Vorteil bei Verwendung einer Hilfsschicht besteht darin, daß sich der für die Bewegung des Schließelementes erforderliche Spalt zwischen der ersten und der zweiten Schicht im Bereich des Schließelementes sehr einfach durch Entfernen der Hilfsschicht erzeugen läßt. Die Funktionsfähigkeit des erfindungsgemäßen Mikroventils hängt entscheidend von einer genauen Justierung der Schichten gegeneinander ab. Eine besonders vorteilhafte Realisierungsmöglichkeit zur Justierung von zwei Siliziumwafern als erste und zweite Schicht des Mikroventils besteht im Einbringen von Vertiefungen und sokkelartigen Erhebungen in die einander zugewandten Oberflächen der Siliziumwafer an komplementären Stellen. Sowohl die Vertiefungen als auch die Erhebungen haben einen festen geometrischen Bezug zu den Durchgangsöffnungen des Zuflusses und des Schließelementes. Beim Bonden der Wafer gegeneinander dienen die Vertiefungen und Erhebungen als mechanische Justierhilfen, durch die gewährleistet wird, daß die Schlitze des Zuflusses und der zweiten Schicht im Bereich des Schließelementes justiert übereinander zu liegen kommen. Sowohl die Vertiefungen als auch die Erhebungen können vorteilhaft durch einen Ätzprozeß erzeugt werden, indem im Falle der Vertiefungen Ausnehmungen eingätzt werden und im Falle der Erhebungen das umliegende Silizium entfernt wird.

Um ein dichtes Schließen des Ventils zu erreichen oder auch um den Leckfluß zu begrenzen, ist es vorteilhaft, als zweite Schicht einen Siliziumwafer zu verwenden, dessen Kristallorientierung um einen geringen Fehlwinkel von der (110)-Orientierung abweicht, und diesen durch anisotropes naßchemisches Ätzen zu strukturieren. Die sich dabei ausbildenden Biegebalken, mit denen das Schließelement mit der zweiten Schicht verbunden ist, haben eine Hauptträgheitsachse, die leicht von der Orientierung der Oberflächen des Wafers abweicht, so daß das Schließelement nicht nur lateral, sondern auch in Richtung senkrecht zu den Waferoberflächen ausgelenkt wird, wenn eine Kraft parallel zu den Waferoberflächen ausgeübt wird. Dadurch wird erreicht, daß bei Betätigung des Schließelementes auch der zur Bewegung des Schließelementes notwendige Spalt zwischen der ersten und der zweiten Schicht kompensiert wird.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 Ausschnitte eines mikromechanischen Längsschieberventils im Schichtaufbau, Fig. 2 einen schematischen Querschnitt zum justierten Aufbau eines Mikroventils, Fig. 3 das Schließelement eines mikromechanischen Drehschieberventils und Fig. 4 das Schließelement eines weiteren mikromechanischen Drehschieberventils.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 sind Ausschnitte eines Schichtweise aufgebauten Mikroventils mit einem Zulauf und einem

Schließelement dargestellt. Mit dem Pfeil 1 ist die Durchströmrichtung des zu schaltenden bzw. zu steuernden Fluidstromes angedeutet. Der Pfeil 2 symbolisiert die Verschiebungsrichtung des Schließelementes. Der Aufbau des Mikroventils weist im wesentlichen eine erste Schicht 25 und eine darauf aufgebrachte zweite Schicht 15 auf. In der ersten Schicht 25 ist eine feststehende Gitterstruktur 20 mit Gitterbalken 23, die Maschen 24 bilden, in einem Rahmen 21 strukturiert. In der zweiten Schicht 15 ist eine zweite Gitterstruktur 10, die ebenfalls Gitterbalken 13 und Maschen 14 aufweist, analog zu der ersten Gitterstruktur 20 ausgebildet. Der Rahmen 11 der zweiten Gitterstruktur 10 ist über Biegebalken 12 mit der zweiten Schicht 15 verbunden. Die Biegebalken 12 sind wesentlich schmaler als hoch ausgebildet, so daß eine Verbiegung in lateraler Richtung 2 gegenüber einer Verbiegung senkrecht zu den Schichtebenen bevorzugt auftritt. Im Bereich der Gitterstrukturen 10, 20, der Rahmen 11, 21 und der Biegebalken 12 besteht ein feiner Spalt zwischen der ersten Schicht 25 und der zweiten Schicht 15. Dadurch kann die das Schließelement bildende zweite Gitterstruktur 10 im Rahmen 11 lateral, d. h., parallel zu den das Mikroventil bildenden Schichten 15 und 25, ausgelenkt werden, wodurch die Größe der Durchströmöffnung, die von den sich überlappenden Maschen 14, 24 der ersten und der zweiten Gitterstruktur 10, 20 gebildet wird, verändert werden kann. Die erste Gitterstruktur 20 dient als Zulauf, die zweite Gitterstruktur 10 als Schließelement und Auslaß des Mikroventils. Der Zufluß des Ventils ist vom Auslaß des Ventils getrennt. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt die Betätigung des Schließelementes über ineinandergreifende kammförmige Lamellenstrukturen 32 und 33, zwischen denen eine Spannung angelegt werden kann. Eine der ineinandergreifenden kammförmigen Lamellenstrukturen 32 geht von dem Rahmen 11 der das Schließelement bildenden Gitterstruktur 10 aus. Die andere kammförmige Lamellenstruktur 33 geht von dem feststehenden Teil der zweiten Schicht 15 aus. Beim Anlegen einer Spannung zwischen den Lamellenstrukturen 32 und 33 wirkt eine Kraft auf das Schließelement, die eine Auslenkung parallel zur zweiten Schicht 15 unter Verbiegung der Biegebalken 12 bewirkt.

Die Ausgestaltung der ersten Gitterstruktur 20, die den Zulauf des Ventils bildet, und die Ausgestaltung der zweiten Gitterstruktur 10, die das Schließelement des Mikroventils bildet, können auf die Funktion des Mikroventils als Schalt- oder Steuerventil abgestimmt sein. Um den Leckfluß des Mikroventils so gering wie möglich zu halten, ist es sinnvoll, die Gitterstrukturen 10 und 20 so in den Rahmen 11 und 21 anzuordnen, daß die Gitterbalken 13 und 23 parallel bzw. parallel und senkrecht zu der durch den Pfeil 2 gekennzeichneten Auslenkungsrichtung des Schließelementes orientiert sind. Haben die erste Gitterstruktur 20 und die zweite Gitterstruktur 10 dieselbe Maschengröße, so ist die Variationsmöglichkeit der Durchströmöffnung des Mikroventils am größten. Soll das Mikroventil möglichst dicht verschließbar sein, so wird die Breite der Gitterbalken 13 des Schließelementes möglichst größer als die Maschen 24 des Zulaufs gewählt. Im Rahmen der Erfindung liegen aber auch andere gitterartige Strukturen und deren Kombinationen, die den Zulauf und das Schließelement bilden.

Die den elektrostatischen Fingerantrieb 31 bildenden kammförmigen, ineinandergreifenden Lamellenstrukturen 32 und 33 können sowohl am Schließelement selbst,

wie in diesem Beispiel am Rahmen 11 der zweiten Gitterstruktur 10, oder an den die Aufhängung bildenden Biegebalken 12 angeordnet sein. Es ist besonders günstig die kammartigen Lamellenstrukturen 32, 33 in der vollen Schichtdicke der zweiten Schicht 15 auszubilden, da bei gleichen lateralen Abmessungen der Lamellenstrukturen und gleichen elektrischen Feldern bei größerer Strukturhöhe der Lamellenstrukturen größere Kräfte erzeugt werden können.

Das in Fig. 1 dargestellte Mikroventil läßt sich vorteilhaft in monokristallinen Siliziumwafern mit vorzugsweise (100)-Kristallorientierung oder (110)-Kristallorientierung realisieren. In Wafern mit (110)-Kristallorientierung lassen sich einfach durch anisotropes Ätzen Strukturen mit großer Tiefe und Seitenwänden senkrecht zu den Waferoberflächen erzeugen, was für die hier beschriebenen Mikroventile besonders günstig ist. Siliziumwafer mit (100)-Kristallorientierung können durch anisotropes Ätzen oder elektrochemisches Trockenätzen strukturiert werden, wobei bei letzterem nur kleinere Strukturiefen erzielt werden. Als Herstellungsverfahren für die hier beschriebenen Mikroventile kommen aber auch die Liga-Technologie oder ähnliche Abformtechniken in Frage, bei denen andere Materialien als Silizium verwendet werden können. Der Schichtweise Aufbau und die Ausgestaltung von zu den Schichtoberflächen senkrechten Durchgangslöchern eignet sich besonders für die Anwendung von Abformtechniken bei der Herstellung.

Die Verwendung von (110)-Siliziumwafern und deren Strukturierung durch anisotropes Ätzen eignen sich besonders zur Herstellung von Lamellenstrukturen mit großer Strukturhöhe, wie sie beim elektrostatischen Fingerantrieb verwendet werden.

Die Verwirklichung des in Fig. 1 dargestellten Schichtaufbaus eines Mikroventils erfordert eine sehr genaue Justierung der beiden Schichten bildenden Wafer gegeneinander, um unerwünschte Überlappungen der Gitterstrukturen 10, 20 und zu große Leckraten zu vermeiden. Als Justierhilfe können, wie in Fig. 2 dargestellt, in einen ersten Wafer 101 an bestimmten Stellen Ausnehmungen 103 eingetätzt werden. Diese Vertiefungen haben einen festen geometrischen Bezug zu den Durchgangsöffnungen, die den Zulauf bilden oder im Bereich des Schließelements strukturiert sind. Diese Bereiche sind in Fig. 2 entsprechend Fig. 1 mit 10 und 20 bezeichnet. Der zweite Wafer 102 des Schichtaufbaus besitzt Erhebungen 104 an den zu den Ausnehmungen 103 im Wafer 101 komplementären Stellen. Diese Erhebungen 104 werden wiederum durch einen Ätzprozeß hergestellt, wobei das umliegende Silizium entfernt wird. Auch die im zweiten Wafer 102 ausgebildeten Durchgangsöffnungen haben einen festen geometrischen Bezug zu den Erhebungen 104. Beim Bonden der Wafer 101 und 102 dienen die Vertiefungen 103 und die Erhebungen 104 als mechanische Justierhilfen. Dadurch ist gewährleistet, daß die Durchgangsöffnungen des Zulaufs und im Bereich des Schließelementes genau justiert übereinander zum Liegen kommen. Neben der in Fig. 1 dargestellten Variante ist es auch möglich, in einen Wafer sockelartige Erhebungen 104 und Ausnehmungen 103 einzubringen und in den anderen Wafer komplementäre Ausnehmungen 103 und sockelartige Erhebungen 104. Die Ausnehmungen 103 und sockelartigen Erhebungen 104 sind an nicht beweglichen Teilen des Mikroventils angeordnet, zum Beispiel in den in Fig. 1 mit 100 bezeichneten Bereichen. Dadurch wird die Beweglichkeit des Schließelements gewährleistet. In

Fig. 2 ist mit 110 eine Siliziumoxidschicht in den Bereichen der Gitterstrukturen 10 bzw. 20 angeordnet. Diese Oxidschicht 110 dient als Hilfsschicht beim Gegeneinanderbonden der Wafer 101 und 102. Durch Entfernen der Hilfsschicht 110 in den Bereichen des Schließelementes und der Biegebalken nach dem Aufeinanderbonden der Wafer 101 und 102 entsteht ein feiner Spalt zwischen den beiden Schichten, die durch die Wafer 101, 102 gebildet werden, der zur Auslenkung des Schließelementes parallel zu den Schichten erforderlich ist.

Ein dichtes Schließen des Mikroventils kann also wegen des Spalts zwischen der ersten Schicht 25 und der zweiten Schicht 15 auch in einer Gitterstellung, bei der die Maschen 14 und 24 vollständig von Gitterbalken 13 und 23 überlappt werden, nur durch eine Spaltkompensation erreicht werden. Eine Möglichkeit stellt die elektrostatische Spaltkompensation dar, dazu muß zwischen der ersten Schicht 25 und der zweiten Schicht 15 eine Spannung angelegt werden, so daß sich die beiden Gitterstrukturen 10 und 20 anziehen. Eine Spaltkompensation ist aber auch möglich, wenn die zweite Schicht, in der das Schließelement ausgebildet ist, durch einen Siliziumwafer gebildet wird, dessen Kristallorientierung einen leichten Fehlwinkel gegen die (110)-Kristallorientierung aufweist. Beim anisotropen Ätzen der Gitterstruktur 10, des Rahmens 11 und der Biegebalken 12 bilden sich dann Biegebalken 12 aus, die eine Hauptträgheitsachse aufweisen, deren Orientierung leicht von der Orientierung der Oberflächen des die zweite Schicht 15 bildenden Siliziumwafers abweichen. Wird beispielsweise über den elektrostatischen Fingerantrieb eine Kraft parallel zur Waferoberfläche auf das Schließelement ausgeübt, so führt die spezielle Ausgestaltung der Biegebalken 12 immer auch zu einer minimalen Auslenkung senkrecht zu den Waferoberflächen, die aber ausreicht, um den Spalt zwischen der ersten Schicht 25 und der zweiten Schicht 15 zu kompensieren.

In Fig. 3 ist ein Schließelement für ein mikromechanisches Drehschieberventil dargestellt. Es weist einen Balken 52 auf, der von einem feststehenden Sockel 50 ausgeht. Im Bereich 51 seines Fußpunktes ist der Balken 52 in seiner Dicke reduziert, so daß er bevorzugt eine Bewegung um diesen Bereich 51 ausführt, was durch den Pfeil 2 dargestellt ist. Der Balken dient zur Überdeckung von einer oder mehreren Durchgangsöffnungen in einer ersten Schicht 25, die hier nicht dargestellt ist. Die Funktionsweise des Mikroventils entspricht ebenfalls dem in Fig. 1 dargestellten, nur daß das Schließelement in diesem Beispiel keine parallelogrammartige laterale Verschiebung ausführt, sondern eine teilweise Drehbewegung um den Fußpunkt des Balkens 52. Zum Betätigen des Schließelementes sind Piezoelemente 61 beidseitig um den Fußpunkt des Balkens 52 auf dem Sockel 50 angeordnet. Die Piezoelemente 61 sind über Hebelarme 62 mit dem Balken 52 verbunden, so daß eine Ausdehnungsänderung der Piezoelemente 61 zu einer Auslenkung des Balkens 52 führt. Je nachdem, welches Piezoelement angesteuert wird bzw. in welcher Form es angesteuert wird, läßt sich der Balken 52 in der Schichtebene bewegen.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausführungsform eines Schließelementes für ein Drehschieberventil dargestellt. Wie bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel besteht das Schließelement aus einem Balken 52, der einseitig mit einem Sockel 50 über einen Fußpunkt verbunden ist und der im Bereich des Fußpunktes in seiner Dicke reduziert ist, so daß das Schließelement eine teilweise Drehbewegung um den Fußpunkt ausüben kann.

Der Antrieb der Auslenkung des Balkens 52 erfolgt hier über einen elektrostatischen Fingerantrieb, der durch von dem Balken 52 ausgehende Lamellen 32 und diesen gegenüber angeordneten Lamellen 33 gebildet wird. Genau wie in dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel greifen die Fingerstrukturen 32 und 33 je nach zwischen den Fingerstrukturen 32 und 33 angelegter Spannung mehr oder weniger ineinander.

Seitlich von dem Balken 52 im Bereich der den Zulauf bildenden Durchgangsöffnungen in einer ersten Schicht des Mikroventilaufbaus, die hier nicht dargestellt ist, sind jeweils eine düsenartige Umrandung 54 angeordnet mit jeweils einer dem Balken 52 zugewandten Düsenöffnung 55. Der Öffnungsgrad der Düsenöffnungen 55 ist je nach Stellung des Balkens 52 veränderbar, so daß wahlweise eine der beiden rechts und links von dem Balken 52 angeordneten Düsenöffnungen 55 geöffnet bzw. geschlossen werden kann. Bei diesem Mikroventil strömt das Fluid durch den Zulauf in die düsenartigen Umrandungen 54 in der zweiten Schicht 15 des Mikroventils ein und wird durch die Düsenöffnungen 55 entsprechend den Pfeilen in Fig. 4 nach außen geleitet. Die Realisierung dieses Mikroventils erfordert eine obere Abdeckung für die zweite Schicht 15.

Das in Fig. 4 dargestellte Mikroventil kann ebenso über Piezoelemente, wie sie in Fig. 3 dargestellt sind, angetrieben werden.

Patentansprüche

1. Mikroventil in Mehrschichtenstruktur zum Schalten oder Steuern von Fluidströmen mit einem Zulauf und einem Schließelement, das durch insbesondere elektrische Betätigungsmittel auslenkbar ist, wobei der Zulauf in einer Schicht als mindestens eine erste Durchgangsöffnung ausgebildet ist und das Schließelement aus einer zweiten Schicht strukturiert ist, die auf die erste Schicht aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß die zweite Schicht (15) im Bereich des Schließelementes mindestens eine weitere Durchgangsöffnung aufweist,
 - daß das Schließelement im wesentlichen parallel zu der ersten Schicht (25) und der zweiten Schicht (15) verschiebbar ist, so daß in mindestens einer ersten Stellung des Schließelementes die mindestens eine Durchgangsöffnung des Zulaufs zusammen mit der mindestens einen weiteren Durchgangsöffnung in der zweiten Schicht (15) mindestens eine Durchströmöffnung bildet,
 - und daß der Querschnitt der mindestens einen Durchströmöffnung durch Betätigen des Schließelementes veränderbar ist.
2. Mikroventil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß der Zulauf als eine erste Gitterstruktur (20) mit Gitterbalken (23) und Maschen (24) ausgebildet ist,
 - und daß das Schließelement als eine zweite Gitterstruktur (10) mit Gitterbalken (13) und Maschen (14) ausgebildet ist.
3. Mikroventil nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Gitterbalken (23) der ersten Gitterstruktur (20) und die Gitterbalken (13) der zweiten Gitterstruktur (10) parallel zueinander angeordnet sind und daß das Schließelement parallel zu den Gitterbalken (13, 23) verschiebbar ist.

4. Mikroventil nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß die erste Gitterstruktur (20) und die zweite Gitterstruktur (10) dieselbe Maschengröße aufweisen.
5. Mikroventil nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß die Maschengröße und die Breite der Gitterbalken (23, 13) so gewählt sind, daß die Gitterbalken (13) der zweiten Gitterstruktur (10) die Maschen (24) der ersten Gitterstruktur (20) in mindestens einer zweiten Stellung des Schließelementes vollständig überdecken.
6. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schließelement mittels Biegebalken (12) mit der zweiten Schicht (15) verbunden ist.
7. Mikroventil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schließelement als einseitig mit einem Sockel (50) verbundener Balken (52) ausgebildet ist und daß der Balken (52) um seinen Fußpunkt schwenkbar ist.
8. Mikroventil nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Balken (52) in einem Bereich (51) in der Nähe des Fußpunktes in seiner Breite reduziert ist.
9. Mikroventil nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß von dem Balken (52) einseitig oder zweiseitig Lamellen (53) ausgehen.
10. Mikroventil nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Dimensionierung und Anordnung der mindestens einen ersten Durchgangsöffnung des Zulaufs und des Balkens (52) und/oder der Lamellen (53) so gewählt wird, daß der Balken (52) und/oder die Lamellen (53) die mindestens eine erste Durchgangsöffnung des Zulaufs in mindestens einer ersten Stellung vollständig überdecken.
11. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mittel zum Anlegen einer Spannung zwischen Teilen der ersten Schicht (25) und Teilen der zweiten Schicht (15) vorhanden sind, so daß das Schließelement elektrostatisch gegen den Zulauf drückbar ist.
12. Mikroventil nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der zweiten Schicht (15) mindestens eine düsenartige Umrandung (54) strukturiert ist, die im Bereich der Durchgangsöffnungen des Zulaufs, seitlich neben dem Balken (52) und bezüglich des Zulaufs so angeordnet ist, daß das zu steuernde Fluid durch den Zulauf in die mindestens eine düsenartige Umrandung (54) einströmt, daß die mindestens eine düsenartige Umrandung (54) eine dem Balken (52) zugewandte Düsenöffnung (55) aufweist, und daß der Öffnungsgrad der Düsenöffnung (55) durch Auslenken des Balkens (52) veränderbar ist.
13. Mikroventil nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die zweite Schicht (15) eine Abdeckung aufgebracht ist.
14. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Betätigung des Schließelementes piezoelektrisch erfolgt.
15. Mikroventil nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Schließelement über mindestens einen Hebelarm (62) mit mindestens einem ansteuerbaren Piezoelement (61) verbunden ist, so daß

— Leerseite —

THIS PAGE BLANK (USPTO)

eine Ausdehnungsänderung des mindestens einen Piezoelementes (61) eine Auslenkung des Schließelementes bewirkt.

16. Mikroventil nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Piezoelement durch eine mehrschichtige Piezokeramik gebildet wird.

17. Mikroventil nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Betätigung des Schließelementes elektrostatisch erfolgt.

18. Mikroventil nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß in der zweiten Schicht (15) vom Schließelement ausgehend mindestens eine erste kammförmige Lamellenstruktur (32) ausgebildet ist, daß in der zweiten Schicht (15) mindestens eine zweite kammförmige Lamellenstruktur (33) ausgebildet ist, die so angeordnet ist, daß die Lamellen der ersten Lamellenstruktur (32) und die Lamellen der zweiten Lamellenstruktur (33) ineinandergreifen, und daß Mittel vorhanden sind zum Anlegen einer Spannung zwischen der ersten Lamellenstruktur (32) und der zweiten Lamellenstruktur (33).

19. Mikroventil nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Lamellenstruktur (32) und die zweite Lamellenstruktur (33) in der gesamten Dicke der zweiten Schicht (15) ausgebildet sind.

20. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (25) und die zweite Schicht (15) durch monokristalline Siliziumwafer mit vorzugsweise (100)-Kristallorientierung oder (110)-Kristallorientierung gebildet sind.

21. Mikroventil nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (25) und die zweite Schicht (15) über eine Hilfsschicht (110), vorzugsweise eine Siliziumoxidschicht, gegeneinander gebondet sind.

22. Mikroventil nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsschicht (110) im Bereich des Schließelementes entfernt ist, so daß in diesem Bereich ein Spalt zwischen der ersten Schicht (25) und der zweiten Schicht (15) gebildet ist.

23. Mikroventil nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (25) und die zweite Schicht (15) durch anisotropes, naßchemisches Ätzen oder elektrochemisches Trockenätzen strukturiert sind.

24. Mikroventil nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet,

– daß die erste Schicht (25) in der der zweiten Schicht (15) zugewandten Oberfläche mindestens zwei sockelartige Erhebungen (104) oder mindestens zwei Ausnehmungen (103) oder mindestens eine sockelartige Erhebung (104) und mindestens eine Ausnehmung (103) aufweist,

– daß die zweite Schicht (15) in der der ersten Schicht (25) zugewandten Oberfläche an den Stellen Ausnehmungen (103) aufweist, an denen sich in der ersten Schicht (25) sockelartige Erhebungen (104) befinden, und an den Stellen sockelartige Erhebungen (104) aufweist, an denen sich in der ersten Schicht (25) Ausnehmungen (103) befinden, wobei die Positionen des Schließelementes und des Zulaufs gegeneinander justiert sind und

– daß die Ausnehmungen (103) und die sok-

kelartigen Erhebungen an nicht beweglichen Teilen des Mikroventils angeordnet sind.

25. Mikroventil nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet,

– daß die Kristallorientierung der die zweite Schicht (15) bildenden Siliziumwafer um einen geringen Fehlwinkel von der (110)-Orientierung abweicht,

– und daß die zweite Schicht (15) durch anisotropes, naßchemisches Ätzen strukturiert ist.

26. Mikroventil nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet,

– daß das Schließelement über Biegebalken (12) mit der zweiten Schicht (15) verbunden ist, wobei die Orientierung einer der Haupttragsachsen der Biegebalken (12) leicht von der Orientierung der Oberflächen der zweiten Schicht (15) abweicht, so daß das Schließelement bei Betätigung neben einer Verschiebung parallel zur zweiten Schicht (15) eine Auslenkung senkrecht zur zweiten Schicht (15) erfährt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 2

